

**THIS PAGE IS INSERTED BY OIPE SCANNING
AND IS NOT PART OF THE OFFICIAL RECORD**

Best Available Images

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

BLACK BORDERS

TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

FADED TEXT

BLURRY OR ILLEGIBLE TEXT

SKEWED/SLANTED IMAGES

COLORED PHOTOS HAVE BEEN RENDERED INTO BLACK AND WHITE

VERY DARK BLACK AND WHITE PHOTOS

UNDECIPHERABLE GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE THE BEST AVAILABLE
COPY. AS RESCANNING *WILL NOT*
CORRECT IMAGES, PLEASE DO NOT
REPORT THE IMAGES TO THE
PROBLEM IMAGE BOX.**



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 42 03 464 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 02 B 17/08
G 02 B 13/22
G 02 B 13/24
G 03 F 7/20

②1 Aktenzeichen: P 42 03 464.7
②2 Anmeldetag: 7. 2. 92
④3 Offenlegungstag: 13. 8. 92

DE 42 03 464 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1
08.02.91 DE 41 03 790.1

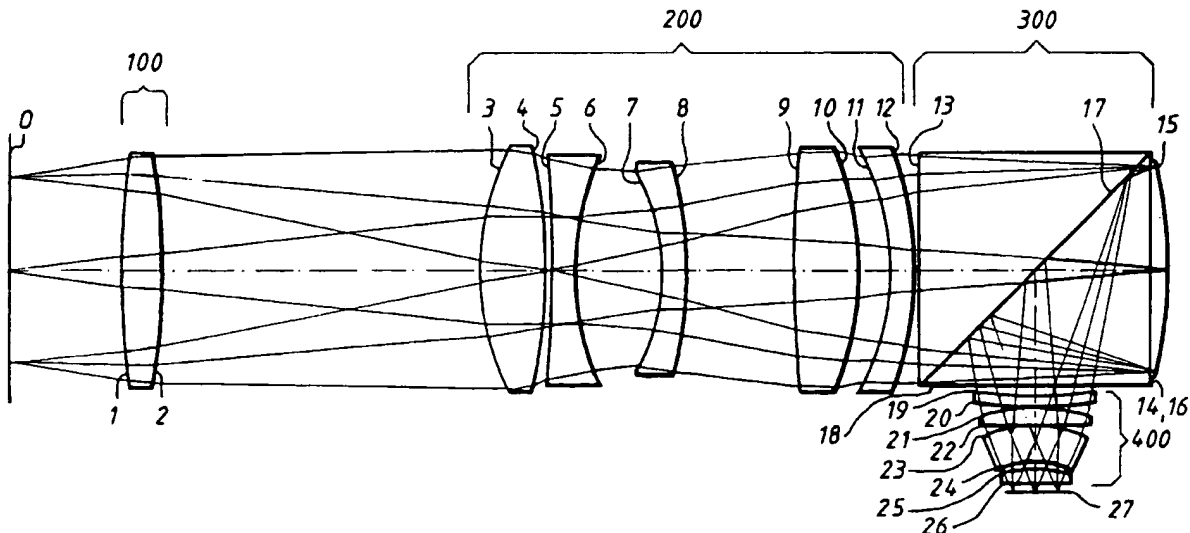
⑦1 Anmelder:
Fa. Carl Zeiss, 7920 Heidenheim, DE

⑦2 Erfinder:
Fürter, Gerd, 7090 Ellwangen, DE; Ulrich, Wilhelm,
7080 Aalen, DE

⑤4 Katadioptrisches Reduktionsobjektiv

⑤7 Katadioptrisches Reduktionsobjektiv mit Hohlspiegel (15), Strahlteiler (300) und mehreren Linsengruppen (100, 200, 400) ohne zusätzliche Linsengruppe zwischen Hohlspiegel (15) und Strahlteiler (300). Beispiele mit bildseitiger Apertur

von 0,52 und 0,58 für Abbildungsmaßstab 1 : 4 korrigiert für nicht eingeengte Excimer-Laser zur Verwendung für die Sub-Mikron-Lithographie.



DE 42 03 464 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein katadioptrisches Reduktionsobjektiv mit Hohlspiegel, Strahlteiler und mehreren Linsengruppen. Aus EP 03 50 955 A, US-Anmeldung Ser. No. 2 23 968/1988, ist ein solches bekannt. Dieses weist vier Linsengruppen auf, wobei die dritte zwischen Strahlteiler und Hohlspiegel angeordnet ist. Diese soll Koma niedriger Ordnung und sphärische Aberration des Spiegels sowie den Gaußfehler korrigieren. Ihre Anordnung zwischen Strahlteiler und Spiegel und die daraus resultierende zweimalige Passage des Lichts bedingen jedoch eine hohe Toleranzempfindlichkeit auf Dezentrierung mit Einfluß auf die Koma-Korrektion. Die Brechkraft dieser dritten Linsengruppe ist nahezu Null, um eine breitbandige spektrale Korrektur nicht zu gefährden.

Bei einer deutlichen Vergrößerung der bildseitigen Apertur bedingt der Platzbedarf dieser dritten Linsengruppe die Forderung nach einem sehr großen Abstand der vierten Linsengruppe vom Spiegel, der im Extremfall größer als deren Brennweite werden kann. Dies ergibt zusätzlich zu wesentlich erhöhtem Fertigungsaufwand auch eine enorme Vergrößerung der Schwierigkeiten für die optische Korrektur.

Aus US 36 98 808, dort insbesondere Anspruch 6 und Fig. 4 ist ein mikrolithographischer Projektionsapparat bekannt mit einer ersten Linsengruppe, einem teildurchlässigen Planspiegel unter 45 Grad, einem konkaven Spiegel und einer unter 90 Grad zur Achse von erster Linsengruppe und konkavem Spiegel angeordneten zweiten Linsengruppe. Die Aufteilung des Projektionsobjektivs und die Einführung des Planspiegels dient der Überlagerung einer zweiten Lichtquelle mit sichtbarem Licht zur Positionskontrolle über das UV-Licht einer ersten Lichtquelle, das die eigentliche Lithographie bewirkt. Der Vergrößerungsmaßstab ist minus Eins bei gleich hoher Apertur beider Linsengruppen. Der Übergang zu einem Objektiv mit wesentlicher Verkleinerung ist jedoch schwierig, wie auch in der Einleitung von US 49 53 960 angegeben.

Aus der nicht vorveröffentlichten DE 41 10 296 A1 ist ein katadioptrisches Reduktionsobjektiv mit polarisierendem Strahlteilerspiegel bekannt.

Aus dem deutschen Gebrauchsmuster DE 69 44 528 U ist ein katadioptrisches Objektiv mit einer Vergrößerung von 1,5:1 bekannt, bei dem zwischen Strahlteiler und Konkavspiegel eine plankonvexe Linse vorgesehen ist.

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ausgehend von einem gattungsgemäßen Reduktionsobjektiv, deutlich höhere bildseitige Apertur bei reduzierter Justierempfindlichkeit und günstiger Konstruktion darzustellen. Das Objektiv soll für die Projektions-Mikrolithografie geeignet sein.

Diese Aufgabe wird für ein gattungsgemäßes Reduktionsobjektiv dadurch gelöst, daß zwischen Hohlspiegel und Strahlteiler keine Linsengruppe angeordnet ist und daß der Hohlspiegel eine erhebliche Reduktionswirkung hat.

Vorteilhafte Ausführungen und Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 12.

Näher erläutert wird die Erfindung an den in der Zeichnung und den Tabellen dargestellten Ausführungsbeispielen.

Fig. 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel im schematischen Schnitt;

Fig. 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel im schematischen Schnitt;

Fig. 3 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel im schematischen Schnitt;

Fig. 4 zeigt schematisch einen mikrolithographischen Projektionsapparat, bekannt als Wafer Stepper, mit dem katadioptrischen Reduktionsobjektiv der Fig. 3.

In der Fig. 1 und der Tabelle 1 sind für das erste Beispiel die Objektebene (0), die optischen Grenzflächen (1) bis (26) gemäß der Tabelle 1 und die Bildebene (27) dargestellt. In der Objektebene (0) liegt vorzugsweise eine Lithografievorlage (Retikel), in der Bildebene (27) ein zu belichtender Wafer. Die erste Linsengruppe (100) besteht lediglich aus einer Einzellinse mit den Grenzflächen (1) und (2). Die Grenzflächen (3) bis (12) bilden eine zweite Linsengruppe (200). Ihr Abstand zur ersten (100) ist größer als der Lichtbündeldurchmesser, so daß im Zwischenraum bei Bedarf ein Umlenkspiegel diagonal angeordnet werden kann, entsprechend der EP 03 50 955 A und nach der Fig. 3. Der Strahlteiler (300) hat die Eintrittsfläche (13), die Austrittsfläche (14) identisch mit der Wiedereintrittsfläche (16), die diagonal angeordnete teilende Spiegelfläche (17) und die Austrittsfläche (18).

Der Strahlteiler (300) hat genaue Würfelform, was fertigungstechnisch einfacher ist als der Pyramidenstumpf nach der EP 03 50 955 A. Ohne Zwischenglieder ist der Hohlspiegel (15) nahe am Strahlteiler (300) angeordnet. Der Hohlspiegel (15) definiert durch seinen Rand die Blende des Systems. Die Blende kann jedoch auch auf der Austritts- und Wiedereintrittsfläche (14, 16) des Strahlteilers (300) liegen oder durch ein gesondertes Teil im Raum zwischen diesen beiden realisiert sein. Eine dritte Linsengruppe (400) mit den Grenzflächen (19) bis (26) vervollständigt den Aufbau, Bild der Objektebene (0) ist die Bildebene (27).

Alle Glasteile sind aus dem gleichen Quarzglas mit $n = 1,50855$ bei 248 nm gefertigt.

Das Objektiv hat so eine größte Objekthöhe von 60 mm bei telezentrischem Strahlengang. Mit der Verkleinerung von 4:1 ist bildseitig die Bildhöhe 15 mm, die numerische Apertur 0,52 und der Strahlengang ebenfalls telezentrisch. Der Spiegel hat einen freien Durchmesser von 139 mm, der größte Durchmesser des Strahlenbündels im Objektiv beträgt 159 mm an der Grenzfläche (3). Die Gesamtbrennweite der Linsengruppen (100) und (200) beträgt 475 mm, der Hohlspiegel (15) hat 158 mm und die nachfolgende dritte Linsengruppe (400) hat 129 mm Brennweite.

Der Abbildungsmaßstab des Hohlspiegels (15) ist 0,14. Er trägt zu einem erheblichen Teil zur gesamten Verkleinerung des erfindungsgemäßen Objektivs bei. Tabelle 4 verzeichnet bevorzugte Bereiche des Abbildungsmaßstabs des Hohlspiegels (15) für verschiedene Verkleinerungen des Gesamt-Objektivs.

Um Vignettierungen zu vermeiden, liegt die Aperturblende am Ort des Hohlspiegels. Zur Erfüllung der bildseitigen Telezentrie-Bedingung muß der Brennpunkt der dritten, dem Hohlspiegel (15) nachgeschalteten, Linsengruppe (400) in der Blende liegen, also im Hohlspiegel (15). Zugleich müssen zwischen der dritten Linsengruppe (400) und dem Hohlspiegel (17) der Strahlteiler (300) und, bei einer Ausführung nach EP 03 50 955,

die zusätzliche Linsengruppe Platz haben.

Das Objektiv nach EP 03 50 955, Fig. 1, hat bei einer bildseitigen numerischen Apertur von 0,45, einem freien Spiegeldurchmesser von 112 mm und einer Brennweite der nachgestellten Linsengruppen von 131 mm einen auf Luft umgerechneten Mindestabstand zum Spiegel, herrührend vom Strahlteiler und der Linsengruppe zwischen diesem und dem Hohlspiegel, von 108 mm, und somit genug Spielraum zur Erfüllung der Lageforderung, wonach die Brennweite größer als die Schnittweite sein soll.

Auf Luft umgerechneter Abstand heißt die reduzierte Strecke, die als Summe der Quotienten aus den Einzelstrecken und den Brechungsindices der jeweiligen Medien definiert ist

$$\left(d_{\text{total}} = \sum_i \frac{d_i}{n_i} \right).$$

Mit der numerischen Apertur von 0,52 und den weiteren Daten des hier gezeigten Beispiels wird jedoch der entsprechende Abstand 115 mm, so daß die erfindungsgemäße Lösung ohne weiteres realisierbar ist, die Einfügung einer Linsengruppe mit etwa 25 mm entsprechendem Luftweg jedoch zur deutlichen Überschreitung der Brennweite (129 mm) führt. Ein dann auftretendes Retrofokusverhältnis (Pupillenabstand/Brennweite) größer Eins wäre sehr nachteilig und würde erhebliche Korrekturmaßnahmen und Mehraufwand in der dritten Linsengruppe (400), z. B. starke negative Brechkräfte nahe der Bildebene bedingen.

Die Brennweite der Linsengruppe (400) wird im wesentlichen nur durch das Verhältnis des Spiegeldurchmessers zur bildseitigen Apertur bestimmt. Eine Verlängerung dieser Brennweite würde also einen größeren Hohlspiegel (15) und somit auch einen größeren Strahlteiler (300) bedingen. Dies ist aus konstruktiven, wirtschaftlichen und fertigungstechnischen Gründen jedoch nicht erwünscht. Außerdem vergrößert sich wegen des zusätzlichen Platzbedarfs durch die größeren Durchmesser auch die erforderliche Schnittweite dieser Linsengruppe, so daß das definierte Retrofokusverhältnis nur unwesentlich günstiger wird.

Bei höheren Aperturen ab etwa 0,50 tritt also für eine Konstruktion nach EP 03 50 955 ein Platzproblem zur Unterbringung der optischen Baugruppen auf, was durch die hier vorgestellte Lösung vermieden wird.

Vorteilhaft für die Anwendung ist die Ausbildung der dritten Linsengruppe (400) mit geringer Krümmung der letzten Linsenfläche (26) und einer Schnittweite von 5 mm zur Bildebene und einem entsprechenden Arbeitsabstand, der ein einfaches Handhaben der zu belichtenden Wafer erlaubt.

In der Tabelle 1 sind die genauen Objektivdaten angegeben. Tabelle 3 zeigt Vergleichsdaten für dieses Beispiel, das der Fig. 2 und die Ausführung nach EP 03 50 955, Fig. 1.

Ein zweites Ausführungsbeispiel für gleiche Bestimmungsgrößen des Objektivs (Bildfeld, Abbildungsmaßstab, bildseitiger Arbeitsabstand, beidseitig telezentrisch, Grundwellenlänge 248 nm, eine Glassorte), bei weiter erhöhter bildseitiger Apertur von 0,58 zeigt Fig. 2. Die Daten sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Dieses Beispiel hat in der dritten Linsengruppe (400) eine Linse mehr als das Beispiel der Fig. 1.

Weiter ist der Strahlteiler (300) — wie in EP 03 50 955, Fig. 1 — als Pyramidenstumpf ausgebildet.

Die seitlichen Flächen des Pyramidenstumpfs einschließlich der Austrittsfläche (18') sind dem von der zweiten Linsengruppe (200') zum Hohlspiegel (15') laufenden Strahlenbündel angepaßt.

So entfällt Glasvolumen und es wird das bei Beispiel Fig. 1 beschriebene Abstandsproblem Hohlspiegel (15') — dritte Linsengruppe (400) etwas entschärft.

Die dadurch auftretende Schräglage der Austrittsfläche (18') gegen die optische Achse wird durch die ebenfalls entstehende Abweichung der Spiegelfläche (17') vom 45°-Winkel kompensiert.

Auch bei dieser Lösung für die große bildseitige Apertur von 0,58 gelingt es, eine Retrofokus-Objektivausführung der dritten Linsengruppe (400') zu vermeiden. Nur eine Linse macht der Mehraufwand für die höhere Apertur aus, abgesehen von den größeren Querschnitten der optischen Elemente.

Tabelle 3 zeigt im Vergleich wichtige Kenndaten der Beispiele nach Fig. 1 und 2 neben der Ausführung nach EP 03 50 955, Fig. 1.

Bei beiden Beispielen ist die chromatische Korrektur für die Verwendung mit einem spektral nicht eingeeengten Excimer-Laser mit der Wellenlänge 248 nm ausgelegt. Diese Beispiele können sehr leicht für andere Wellenlängen desselben Lasers bzw. für andere Laser umgerechnet werden. Außerdem können beispielsweise zur Steigerung der chromatischen Korrektur auch mehrere verschiedene Materialien wie etwa Quarz und Flußspat eingesetzt werden.

Auch ist die Telezentrie speziell der Objektseite erfindungsunerheblich. Eine weitere Leistungssteigerung durch — allerdings schwer herzustellende — Asphären ist ebenfalls möglich.

Der Strahlteiler ist auch in anderer Ausführungsform, beispielsweise als Strahlteilerplättchen, möglich.

Fig. 3 zeigt eine Abwandlung des Reduktionsobjektivs nach Fig. 2, wobei ein Umlenkspiegel (M) zwischen der ersten Linsengruppe (100') und der zweiten Linsengruppe (200') angeordnet ist. Damit können Objektebene (0') und Bildebene (29) parallel liegen.

Fig. 4 zeigt die Integration dieses katadioptrischen Reduktionsobjektivs (41) nach Fig. 3 in einem mikrolithographischen Projektionsapparat, bekannt als Wafer Stepper. In der Objektebene des Objektivs (41) ist eine Maske (42) mit einer x-y-z-Positioniereinheit (421) positioniert. Die Maske (42) wird mit Licht einer geeigneten Wellenlänge, von einer Lichtquelle (44), z. B. einem Excimerlaser, beleuchtet. In der Bildebene des Objektivs (41) ist ein Wafer (43) mittels einer zweiten x-y-z-Positioniereinheit (431) angeordnet.

Natürlich können auch die anderen Beispiele des katadioptrischen Reduktionsobjektivs nach Fig. 1 und Fig. 2 und andere erfindungsgemäße Ausführungen in ähnlicher Weise in einem solchen mikrolithographischen Projektionsapparat integriert sein.

Tabelle 1

Nr.	Radius (mm)	Wellenlänge $\lambda = 248$ nm (0,1 nm FWHM) Quarzglas $n = 1,50855$ bei 248 nm Numerische Apertur $NA = 0.52$ Abbildungsmaßstab $\beta = -1/4$ Dicke (mm)	
5			
10	0	Objektebene	77.232
	1	575.010	25.000 Glas
	2	— 493.082	212.823
	3	— 171.143	46.000 Glas
	4	— 386.583	2.289
15	5	— 961.355	16.000 Glas
	6	154.896	59.176
	7	— 124.348	14.500 Glas
	8	— 319.079	72.017
	9	743.787	43.000 Glas
20	10	— 191.051	22.341
	11	— 155.712	16.000 Glas
	12	— 238.213	2.000
	13	0.000	154.000 Glas
	14	0.000	12.000
25	15	— 315.267	— 12.000 Spiegel
	16	0.000	— 154.000 Glas
	17	Spiegelfläche	
	18	0.000	7.527
	19	— 213.024	7.800 Glas
30	20	— 293.203	.500
	21	117.503	11.100 Glas
	22	1129.495	.848
	23	76.710	23.272 Glas
	24	56.455	3.958
35	25	79.103	9.745 Glas
	26	— 3233.755	5.000
	27	Bildebene	
40			
45			
50			
55			
60			
65			

DE 42 03 464 A1

Tabelle 2

Nr.	Radius (mm)	Wellenlänge $\lambda = 248$ nm (0,1 nm FWHM) Quarzglas $n = 1,50850$ bei 248 nm Numerische Apertur $NA = 0,58$ Abbildungsmaßstab $\beta = -1/4$ Dicke (mm)	
0	Objektebene	76.573	5
1	655.390	25.000 Glas	10
2	— 521.2243	208.105	
3	169.298	46.000 Glas	
4	— 390.848	4.045	
5	— 1145.232	16.000 Glas	15
6	154.665	58.096	
7	— 121.813	14.500 Glas	
8	— 336.481	71.245	
9	718.374	43.000 Glas	
10	— 174.236	20.956	20
11	— 147.053	16.000 Glas	
12	— 244.332	2.000	
13	0.000	157.000 Glas	
14	0.000	12.000	
15	— 314.137	— 12.000 Spiegel	25
16	0.000	— 157.450 Glas	
17	Spiegelfläche		
18	0.000	5.265	
19	— 264.219	7.800 Glas	
20	— 432.367	.500	30
21	115.928	11.100 Glas	
22	520.023	.500	
23	89.500	9.456 Glas	
24	152.687	.788	
25	90.920	13.426 Glas	35
26	57.021	4.050	
27	87.592	9.819 Glas	
28	— 3229.501	5.000	
29	Bildebene		40
			45
			50
			55
			60
			65

Tabelle 3

	Fig. 2	Fig. 1	EP 03 50 955
5			
Abbildungsmaßstab:	1/4	1/4	1/4
Bildhöhe:	15 mm	15 mm	15 mm
bildseitige Apertur:	0.58	0.52	0.45
bilds. Hauptstrahlwinkel:	telezent.	telezent.	telezent.
10 optische Baulänge:	1008 mm	1010 mm	1027 mm
bilds. Schnittweite:	5.0 mm	5.0 mm	5.6 mm
Abmessung d Strahlteilers:	Pyr. stumpf	Würfel	Pyr. stumpf
Breite Eintrittsfläche 13'	166 mm	154 mm	131 mm
Breite Aus- u. Eintrittsfläche 14, 16	155 mm	154 mm	115 mm
15 Abstand 13—14	157 mm	154 mm	120 mm
Linsenzahl			
N (100, 200)	6	6	4
N (400)	5	4	4
N (zwischen Teiler (300) + Hohlspiegel (15)	—	—	2
20 gesamt	11	10	10
Brennweite			
f' (100, 200)	486 mm	475 mm	495 mm
f' (400)	127 mm	129 mm	131 mm
f' (zw. Teiler (300) + Hohlspiegel (15)	—	—	— 3430 mm
25 f' (15)	157 mm	158 mm	153 mm
freier Durchmesser des Spiegels 15	155 mm	139 mm	112 mm
größter freier Durchmesser:	172 mm	159 mm	171 mm
Abstand (d) in Luft zwischen Spiegel 15			
+ Strahlteiler Austrittsfläche 18:	117 mm	115 mm	108 mm
30 Retrofokusverhältnis d/f' (400)	0.92	0.89	0.82
Abbildungsmaßstab des Spiegels (15)	0,14	0,14	0,14

Tabelle 4

	Abbildungsmaßstab β des Objektivs	Abbildungsmaßstab des Hohlspiegels (15)
35	1 : 10	0.00 \pm 0.10 : 1
	1 : 5	0.10 \pm 0.15 : 1
40	1 : 4	0.15 \pm 0.15 : 1
	1 : 2	0.35 \pm 0.20 : 1

Patentansprüche

- 45 1. Katadioptrisches Reduktionsobjektiv mit Hohlspiegel (15), Strahlteiler (300) und mehreren Linsengruppen (100, 200, 400), dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Hohlspiegel (15) und Strahlteiler (300) keine Linsengruppe angeordnet ist, und daß der Hohlspiegel (15) einen wesentlich verkleinernden Abbildungsmaßstab hat.
- 50 2. Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die bildseitige Apertur mindestens 0,50 ist.
3. Objektiv nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Blende am Ort des Hohlspiegels (15), auf der Aus- und Eintrittsfläche (14, 16) des Strahlteilers oder im Raum zwischen diesen angeordnet ist, und daß der Abstand der Blende zu der dem Hohlspiegel (15) nachgeordneten Linsengruppe (400) in Luft umgerechnet kleiner als deren Brennweite ist.
- 55 4. Objektiv nach den Ansprüchen 1, 2 und/oder 3, gekennzeichnet durch die Korrektur für Laserlicht bei einer Wellenlänge im UV- oder DUV-Bereich.
5. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlteiler (300) als Strahlteilerwürfel ausgeführt ist.
- 60 6. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen zwei Linsengruppen (100, 200) vor dem Strahlteiler (300) ein ebener Umlenkspiegel angeordnet ist.
7. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß alle Linsenelemente und der Strahlteiler (300) aus dem gleichen Material gefertigt sind.
8. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, gekennzeichnet durch bildseitige Telezentrie.
9. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch einen Abbildungsmaßstab im Bereich 1:2 bis 1:10.
- 65 10. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch einen Abbildungsmaßstab des Hohlspiegels (15) im Bereich 0,55 bis — 0,10.
11. Objektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10 gekennzeichnet durch die Verwendung zur

DE 42 03 464 A1

mikrolithographischen Projektion mit Strukturen im Submikronbereich.

12. Mikrolithographischer Projektionsapparat, dadurch gekennzeichnet, daß ein katadioptrisches Reduktionsobjektiv nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10 enthalten ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

— Leerseite —

FIG.1

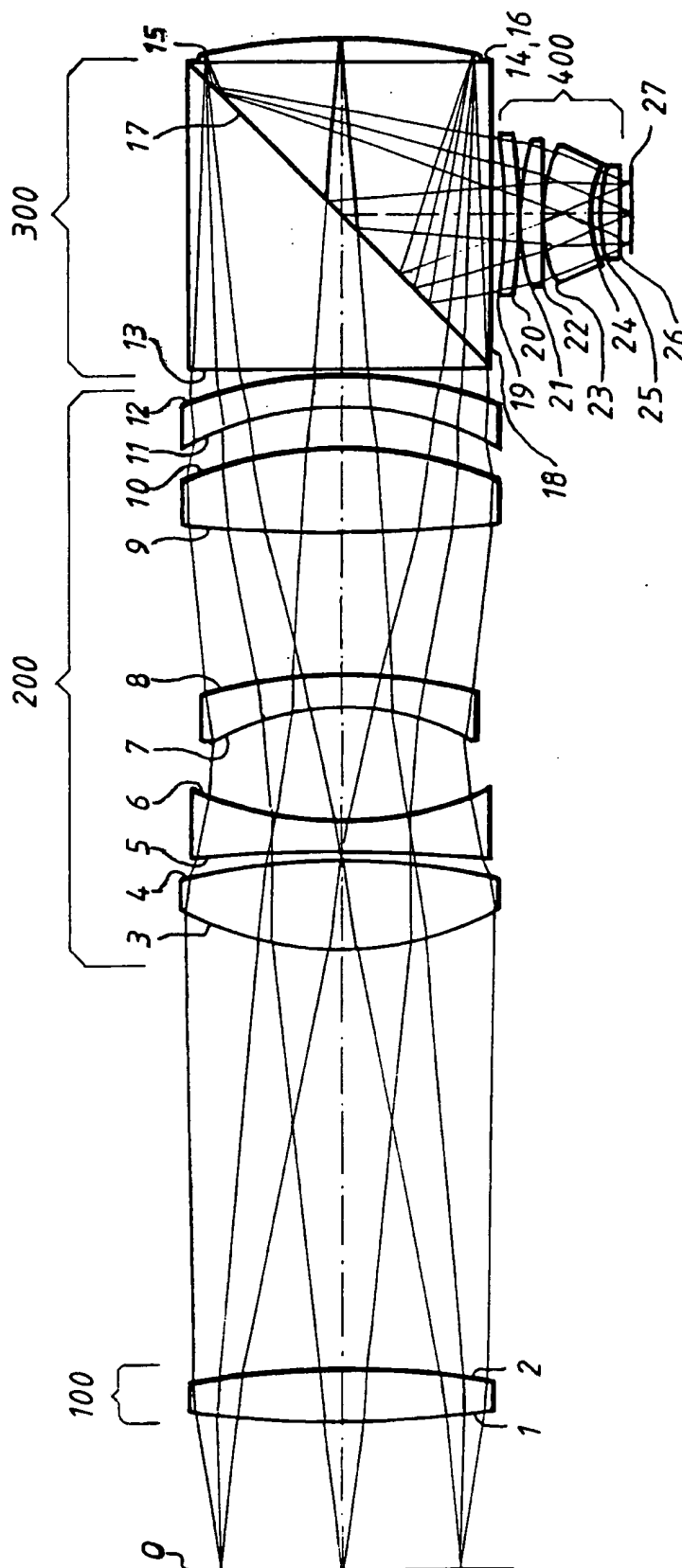


FIG. 2

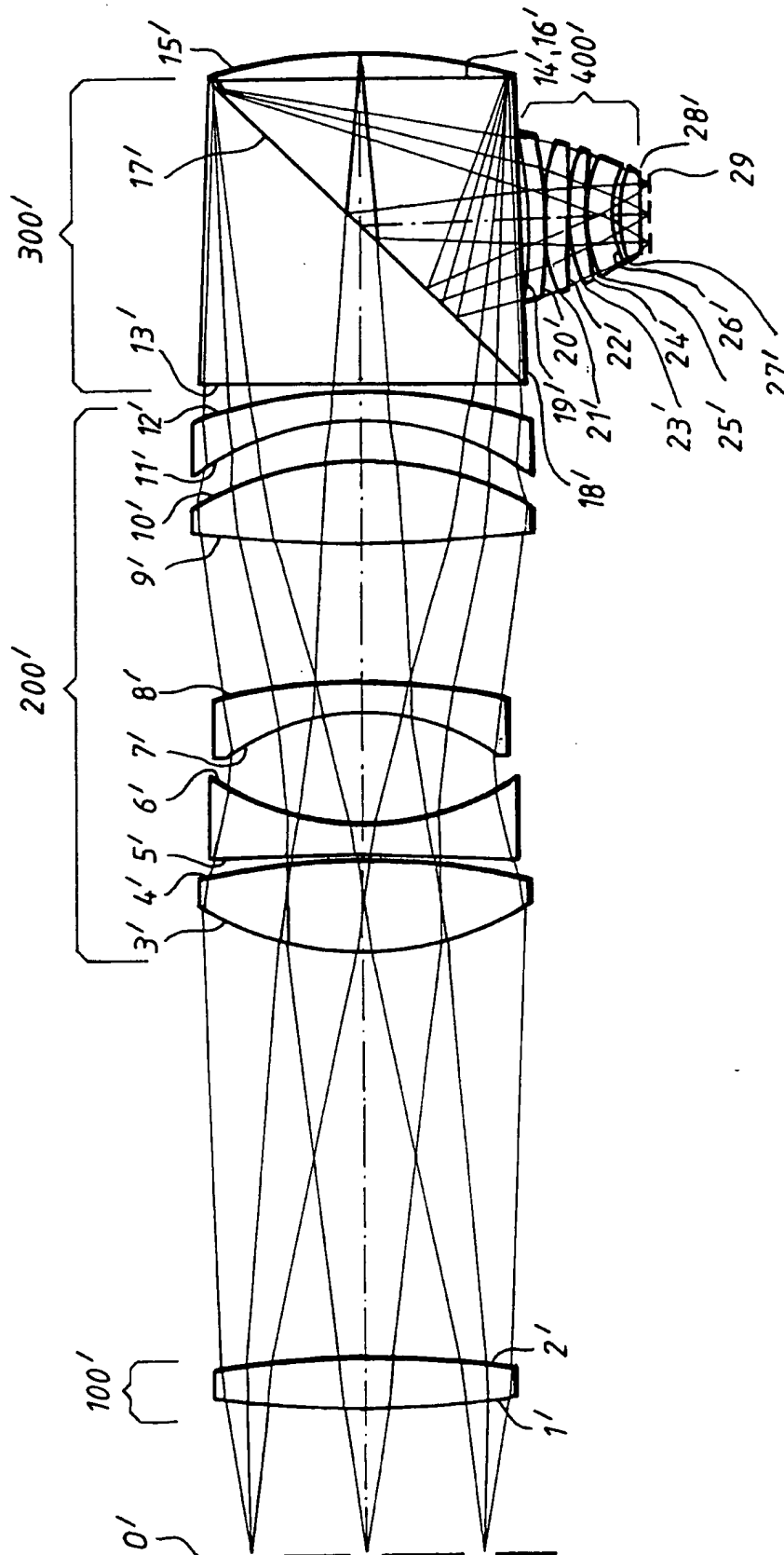


FIG. 3

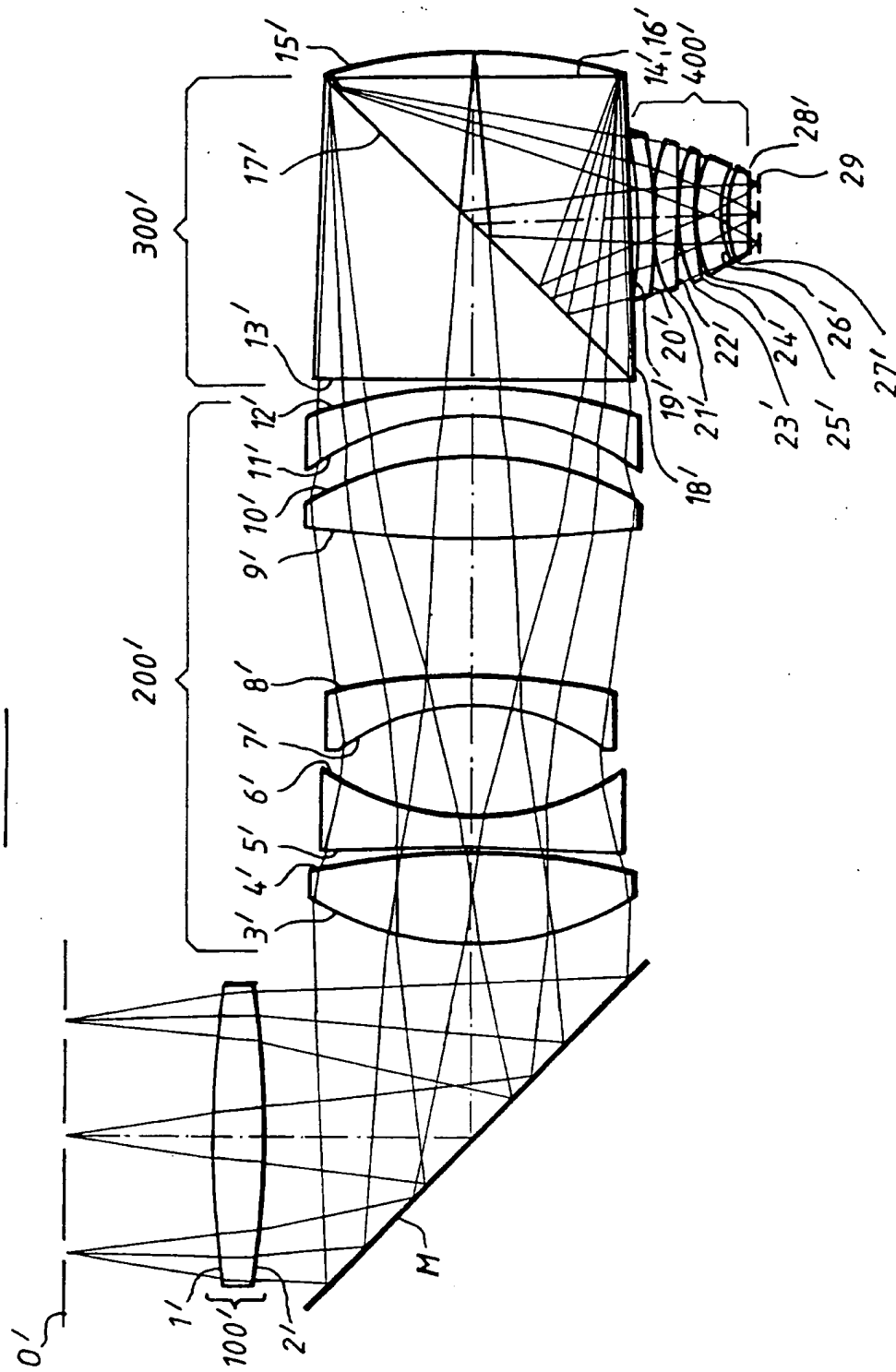


FIG. 4

